FASZERKEZETI ELEMEK KÚSZÁSÁNAK ELŐREJELZÉSE ALAKVÁLTOZÁSI FELÜLETTEL*

Dr. RÓNAI FERENC
a mezőgazdasági tudományok kandidátusa, tanszékvezető egyetemi tanár
EFE, Sopron

Bevezetés

Napjainkban tapasztalható, hogy az iparifa egyre „értékesebb" nyersanyaggá válik. Erre nemcsak a faárak alakulása és a felhasználási korlátozások aktuális bevezetése utal, hanem különösen az, hogy a faipar és a műanyagipar erőteljes fejlődése révén egyre nagyobb jelentőségű — és bizonyos területeken gazdaságosan és esztétikusan csak fával megoldható — ipari feladatokat lehet teljesíteni.

Az iparilag fejlett országokban — szakirodalmi adatok alapján — a faanyagok építőipari felhasználásának aránya a tégla, beton és vasbeton után következik, megelőzve az acélt és a műanyagokat. Az építőanyagok kiválasztása során eddig kevésbé, de a jövőben minden bizonnyal növekvő jelentőségű tényezővé válik az előállítás összes energiaszükséglete. Ezúttal az ipari és mezőgazdasági épületek mellett különösen a nagy fesztávolságú sport- és középületek igényes fa-tartószerkezeteit kell kiemelni. Ezek alkalmazása hazánkban is terjedőben van, követve bizonyos nemzetközi tendenciákat.

A szilárdsági méretezés fejlesztése és megbízhatóságának fokozása érdekében végzett kutatások során mindig különös érdeklődés kísérte az idő szerepét.

A jelenségek várható lefolyásának számítással való követése, a teherviselő elem anyagában lejátszódó relaxációs és kúszási jelenségek, továbbá az élettartammal kapcsolatos problémák az időnek, mint skalár változónak a számításba vételét szükségessé teszik.

A természetes faanyag inhomogén és ortotrop jellege, továbbá teherviselő elemeinek heteropolimer felépítése és ezzel az anyagi — főként szilárdsági — tulajdonságoknak a környezeti, fizikai jellemzőkön kívül még az időtől való függése, a teherviselő szerkezetek tervezésekor számos problémát vet fel. Ez rendszerint egy megnyugtató, nagy biztonságra való törekvésben jut kifejezésre, ami azonban a faszerkezetek gazdaságosságát kedvezőtlenül befolyásolja.

* Az Erdészeti és Faipari Tudományos Ülésen 1980. február 28-án elhangzott előadás.

Ez alkalommal a faanyag makromolekuláris szerkezetéből adódóan keressük a kapcsolatot a tartós nyugalmi terhelés mértéke (φ), a terhelés időtartama (t) és a lassú alakváltozás (η) között. Célunk olyan összefüggések keresése, amelyek segítségével valamely adott tartós feszültség hatására a lassú alakváltozás mértékét, a tervezett élettartamra — változatlan fizikai jellemzők feltételezésével — megbízhatóan előre lehet jelezni.

Alapelv és vizsgálati módszer

A faanyag molekuláris felépítését a szilárdsági tulajdonságainak a vizsgálatakor is szem előtt kell tartani. A faanyaggal szemben támasztott korszerűbb igényeknek is megfelelően, a szilárdsági vizsgálatok alábbi három csoportját célszerű megkülönböztetni:

a) pillanatnyi (rövid idejű) terhek okozta szilárdságok, melyek lehetnek
 — statikus és
 — dinamikus jellegűek,

b) tartós nyugalmi terhek okozta szilárdságok (röviden tartós szilárdságok),

c) tartós váltakozó terhek szilárdságai (röviden kifáradási szilárdságok).

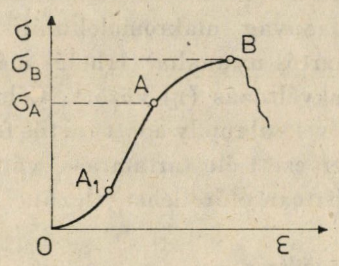
A fára, mint organikus anyagra, az anatómiai felépítése révén három irányú anizotrópia jellemző; mivel gyakorlatilag a szimmetria síkok egymásra merőlegesnek tekinthetők, ortotróp anyagként kezelhető, éspedig

— rostirányban (r-irány),
— sugár-irányban (s-irány) és
— húr-irányban, mely az évgyűrűkhöz viszonyítva tangenciális helyzetű (h-irány).

Ennek megfelelően a *pillanatnyi terhek* alapján, a jelleggörbe (1. ábra) lineárisan rugalmas (A_1 — A) szakaszára felírható fizikai egyenletek az alábbiak lesznek:

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_r \\ \varepsilon_s \\ \varepsilon_h \\ \gamma_{rs} \\ \gamma_{rh} \\ \gamma_{sh} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_r} & -\frac{\mu_{sr}}{E_s} & -\frac{\mu_{hr}}{E_h} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_{rs}}{E_r} & \frac{1}{E_s} & -\frac{\mu_{hs}}{E_h} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\mu_{rh}}{E_r} & -\frac{\mu_{sh}}{E_s} & \frac{1}{E_h} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{rs}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{rh}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{sh}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_r \\ \sigma_s \\ \sigma_h \\ \tau_{rs} \\ \tau_{rh} \\ \tau_{sh} \end{bmatrix}$$

ahol ε, γ a fajlagos alakváltozások,
E, G a rugalmassági tényezők és
μ a Poisson-féle állandó.



1. ábra. A faanyag jelleggörbéjének három szakasza (OA_1; A_1A; AB); σ_B: pillanatnyi szilárdság

A fizikai egyenletek a kezdeti $0 - A_1$ görbületi szakaszra nem érvényesek. Itt ugyanis kismértékű terhelés is nagy alakváltozást eredményez és a kapcsolat közöttük nem lineáris; a rostok közötti belső súrlódás is elenyésző még ebben a szakaszban.

Tartós nyugalmi terhelés esetén, vagyis egy konstans σ_t hajlítófeszültségnél az alakváltozások a t időnek is függvényei. A deformáció és az idő kapcsolatát ilyen kétdimenziós rendszerben gyakorlatilag elegendő pontossággal le lehet írni, pl. a Burgers-modell segítségével, vagyis

$$\mathrm{Bu} = \mathrm{M} - \mathrm{K} = (\mathrm{H} - \mathrm{N}) - (\mathrm{H} \parallel \mathrm{N}),$$

ahol M a Maxwell-modell, K a Kelvin-modell, H a Hooke-elem és N a Newton-elem.

Ily módon a

$$\Phi(\varepsilon, t) = 0$$

függvény $\sigma_t =$ konst. ismeretében meghatározottnak tekinthető (ε a fajlagos alakváltozást és t az időt jelenti).

Ha a σ_t tartós feszültségek is különböző értékeket vehetnek fel, akkor a különböző terhelési tényezőknek megfelelő kúszásgörbék egy felületet írnak le; a deformációk ismeretének a feltétele ezt az alakváltozási felületet leíró

$$\Phi(\eta, \varphi_i\, t_k) = 0$$

függvény meghatározása, ahol

$\eta = \dfrac{y_t - y_0}{y_0}\, 100\ldots(\%)$ a kúszási tényező,

y_0, y_t a kezdeti rugalmas, illetve a t_k időhöz tartozó alakváltozás,

$\varphi_i = \dfrac{\sigma_t}{\sigma_B}\, 100\ldots(\%)$ a terhelési tényező ($i = 1\ldots100$),

σ_t az állandó és a tartós jellegű esetleges terhekből származó legnagyobb hajlítófeszültség,

σ_B a pillanatnyi statikus hajlítószilárdság,

t_k a terhelés időtartama ($k = 1, 2, \ldots, n$).

Laborvizsgálati eredmények

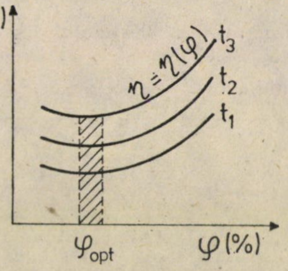
A laboratóriumi vizsgálatokat egypontos hajlításra terhelt erdeifenyő (Pinus silv.) próbatestekkel elvégezve, 1...127 órás terhelési időtartamokat alkalmazva, az alakváltozási felület $\eta = \eta(\varphi)$ vezérgörbéi első közelítésben másodfokú parabolával írhatók le,

$$\eta = a\varphi^2 - b\varphi + c,$$

ahol az együtthatók: $a = a(t)$, $b = b(t)$, $c = c(t)$ és

$$0 < \varphi < 100.$$

Az $\eta = \eta(\varphi)$ görbék alakját és az együtthatókat néhány terhelési időtartamra a 2. ábra és az alábbi táblázat mutatja.



2. ábra

$t(h)$	a	b	c
1	0,0050	0,2629	6,1333
3	0,0081	0,4643	9,8333
127	0,0233	1,4500	31,1667

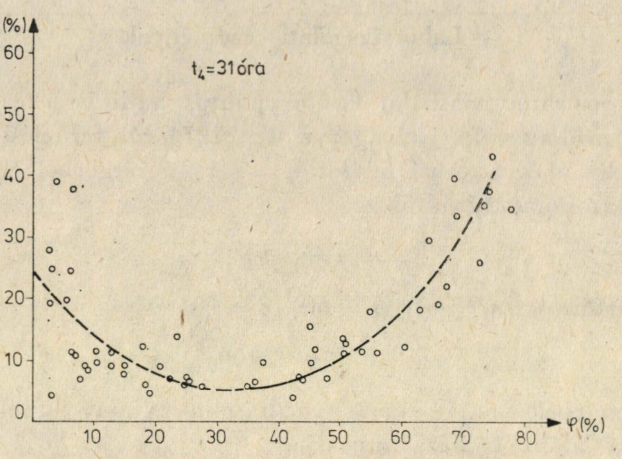
Ennek alapján az alakváltozási felület a $\varphi - \eta - t$ rendszerben meghatározható. Kezelése azonban jóval egyszerűbb, ha a mért eredményeket $\varphi - \log \eta - \log t$ rendszerben ábrázoljuk. Ekkor az alakváltozási felület $\log t$ irányában emelkedő két ferde síkból tevődik össze, melyek metsző egyenese φ_{opt}-ban, vagyis a minimális deformációt eredményező terhelési tényezőnél van (5. ábra).

Példaként a $t = 31$ órás terhelési időtartammal, laboratóriumban felvett $\eta = \eta(\varphi)$ görbét lineáris és féllogaritmikus ábrázolásban a 3. és 4. ábrák mutatják.

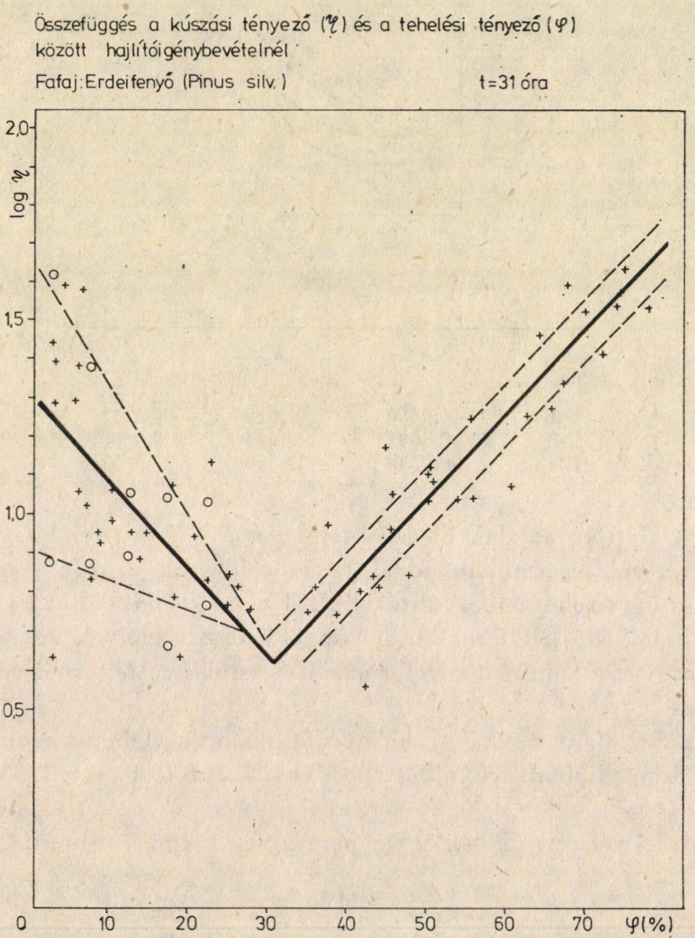
A kúszási tényezők a sík egyes pontjaihoz tartozó ordináták, azaz

$$\eta = \eta(\varphi_i, t_k),$$

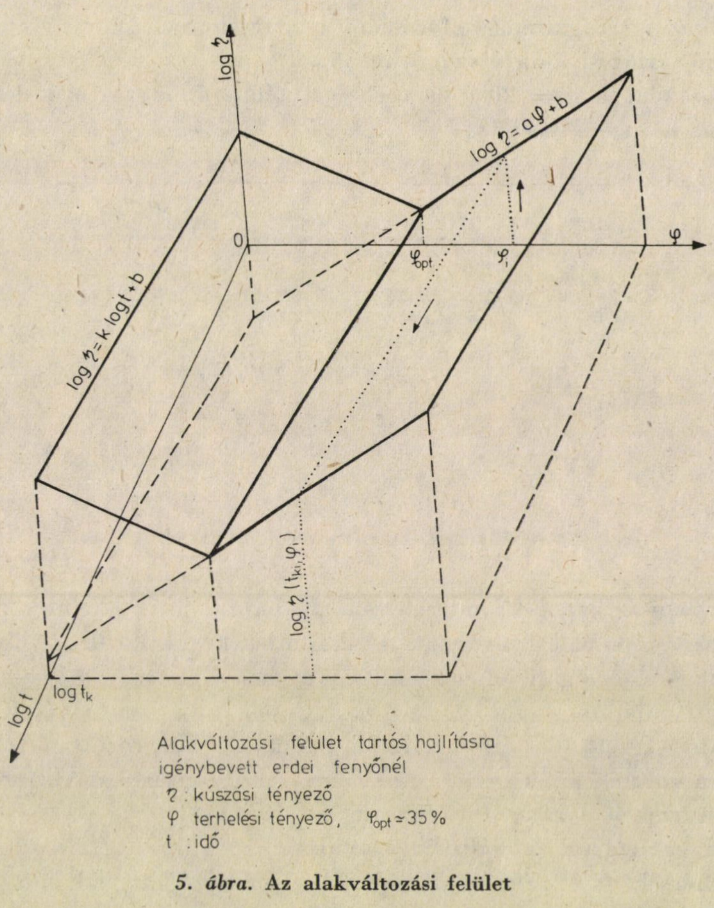
melyekből az adott terhelési időhöz tartozó deformációk számíthatók.



3. ábra. $\eta = \eta(\varphi)$ **görbe t = 31 órás terhelésnél**



4. ábra. $\eta = \eta(\varphi)$ **görbe t = 31 órás terhelésnél féllogaritmikus ábrázolásban**



5. *ábra.* Az alakváltozási felület

Az I. szakaszban $(0 < \varphi_i < \varphi_{\text{opt}})$ ugyanis a felület jellemzői alapján felírható

$$\eta(t_k, \varphi_i) = t_k^{0,26} \cdot 10^{(0,77 - 0,015\,\varphi_i)}$$

vagy átalakítás után

$$\eta(t_k, \varphi_i) = t_k^{0,26} \exp\,(1{,}773 - 0{,}0325 \cdot \varphi_i)$$

A II. szakaszra $(\varphi_i > \varphi_{\text{opt}})$ a mért adatok alapján hasonlóan levezethető

$$\eta(t_k, \varphi_i) = \frac{1}{0{,}5116}\, t_k^{0,2916} \cdot 10^{0,0216\varphi_i}$$

vagy átalakítás után

$$\eta(t_k, \varphi_i) = 3{,}248 \cdot t_k^{0,2916} \exp\,(0{,}0497 \cdot \varphi_i)$$

A kezdeti rugalmas deformáció ismeretében a tényleges deformációk különböző terhelési időkre számíthatók.

Példaként a $\varphi = 20\%$-os terhelési tényezőhöz tartozó deformációkat a táblázat mutatja.

t_k	$\log t_k$	$\eta(t_k, \varphi_{20})$	$y(t_k, \varphi_{20})$
1 óra	0	2,951	$1{,}0295 \cdot y_0$
1 év	3,9425	30,261	$1{,}3026 \cdot y_0$
5 év	4,6414	47,534	$1{,}4753 \cdot y_0$
10 év	4,9425	56,885	$1{,}5688 \cdot y_0$
20 év	5,2440	68,077	$1{,}6808 \cdot y_0$
50 év	5,6414	86,497	$1{,}8650 \cdot y_0$
70 év	5,7876	94,406	$1{,}9441 \cdot y_0$

A kísérleti eredmények értékelése

Mivel a fa képes környezetével, a hőmérsékleti, a relatív páratartalmi és egyéb viszonyokkal egyensúlyi állapotba kerülni, illetve ilyen változó viszonyokat a reológiai jellemzőivel követni, nyilvánvaló, hogy az előzőkben ismertetett eljárással, változatlan fizikai jellemzők alapulvételével, a log t irányában végzett lineáris extrapolálással meghatározott értékek csupán kiinduló alapértékeknek tekinthetők, amelyek bizonyos korrekcióra szorulnak.

A korrekció során adott fafajnál általában

— a nedvességtartalom változtatásával,

— a hőmérsékleti és relatív páratartalmi viszonyokkal, valamint

— a tartók keresztmetszeti kialakításával

kapcsolatosan jelentkező módosító hatásokat célszerű figyelembe venni.

Abban az esetben, ha az l/h viszony kicsi, természetesen a hajlításból keletkező nyírás okozta deformációkkal is számolni kell.

A korrekció mértékére így különösen a nedvességtartalom ciklikus változásának a hatására, a szakirodalomból ismert kutatási eredmények megfelelő támpontot adnak.

A nedvességtartalom váltakozásának a hatása szorosan összefügg a tartó keresztmetszeti kialakításával. A vékony falú elemekből álló tartók (pl. az alacsony és magas gerincű I tartók, a szekrénytartók) a nedvességtartalom változása szempontjából kedvezőtlenebbek, mint a tömör gerenda vagy rétegelt-ragasztott keresztmetszetek (Hetzer-tartók stb.). A tömör tartók nedvességtartalmának megváltozása, a nedvesség behatolása lassúbb folyamat, a periodikus változásnak kevésbé vannak kitéve, mint a vékony falú elemek.

Általában mennél kevésbé változnak a fizikai jellemzők a tartóban, annál kevésbé van szükség az alapértékek korrekciójára.

Említést érdemel végül, hogy a logaritmikus extrapolálásnak is vannak határai. Számos példa mutatja, hogy a lassú alakváltozás nem nő korlátlanul, ezen törvényszerűség szerint bizonyos idő múlva csökken a mértéke, vagy meg is állhat. Az eljárás alkalmazása tehát a hosszú időtartamoknál a biztonság javára szolgál.

Összefoglalva megállapítható, hogy a hajlított fatartók alakváltozása egzakt alapokon, a tervezett élettartamra, számítással előre jelezhető, éspedig

— a kezdeti rugalmas deformációnak a fafajtól és anyagi tulajdonságától, valamint a tervezett terhelési időtartamtól függő *alapértékével*,

— továbbá a funkcionális és környezeti adottságokból származó fizikai jellemzők hatását figyelembe vevő *korrekciós tényezőkkel.*

A megbízhatóságot növeli az egyes fafajokra és faalapú anyagokra vonatkozó reológiai tulajdonságok még alaposabb ismerete, ami a reológiai kutatások további folytatását és a hazai építési követelményeknek megfelelő kiterjesztését teszi szükségessé.